

АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ ЭРОЗИИ В ГАЗООХЛАДИТЕЛЕ ПГУ-ВЦГ

ANALYSIS OF EROSION MECHANISMS OF SYNGAS COOLER FOR IGCC PROCESS

Масленников Г. Е., Марчкова Ю. А., Микула В. А.
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,
g26m12@mail.com

Maslennikov G. E., Marchkova Yu. A., Mikula V. A.
Ural Federal University, Ekaterinburg

Аннотация: В работе рассмотрены основные механизмы и модели эрозионного износа твердыми частицами. Выбрана наиболее приемлемая по физическим условиям модель эрозии для расчета конвективного газоохладителя ПГУ-ВЦГ.

Abstract: This paper considered the basic mechanisms and models of solid particle erosion wear. The most acceptable model for numerical simulation erosion of convective gas cooler for IGCC process was chosen by physical conditions.

Ключевые слова: ПГУ-ВЦГ; конвективный газоохладитель; эрозия твердыми частицами; модель эрозии.

Key words: IGCC; convective syngas cooler; solid particle erosion; erosion model.

Одним из путей повышения эффективности парогазовых установок с внутрицикловой газификации угля (ПГУ-ВЦГ) является применение теплообменных аппаратов – газоохладителей (ГО) для утилизации физической теплоты синтез-газа после газогенератора. Оптимальной считается двух ступенчатая компоновка ГО, где на

второй стадии возможна только конвективная рекуперация. Наиболее перспективной является конструкция конвективного ГО с трубными мембранными спиралями [1]. Важной проблемой для ГО, помимо газовой коррозии и загрязнения поверхностей нагрева, является эрозионный износ – разрушение поверхностей в результате столкновения с потоком твердых частиц.

То, как разрушается поверхность преграды, во многом определяется пластичностью материала преграды, поэтому различают два принципиальных механизма эрозии соответственно для пластичных и хрупких материалов:

- разрушение материала в результате микрорезания и пластической деформации [2];
- разрушение материала в результате образования трещин [3].

Влияние этих двух процессов трудно спрогнозировать из-за большого числа параметров, влияющих на скорость эрозии: угол падения; скорость удара; твердость, форма и размер частицы; твердость и прочность материала мишени и др. По этой причине существует порядка 30 общих моделей эрозии [4], разработанных для конкретных специфических условий и рассматривающих различные параметры. Авторы [5] в своей работе выделяют восемь моделей эрозии твердыми частицами с описанием области их применения (таблица).

Как показано в работе [1] скорости синтез-газа в газоохладителях с трубными мембранными спиралями достигают величин 3–8 м/с. Углы падения частиц золы варьируются в широком диапазоне. По нашему мнению для расчета эрозии конвективного газоохладителя наиболее приемлемыми по физическим условиям являются модели 4, 5, 7, 8 (см. таблицу). Однако в используемом пакете CFD из выбранных моделей встроенной является модель 5 Табакова–Гранта, поэтому она принимается для дальнейших расчетов.

Сравнительный анализ моделей эрозии

№	Автор модели	Характеристика и область применения
1	Финни	Прогнозируемость скорости эрозии довольно хороша до 45°. Выше 45°, модель Финни предсказывает меньшую скорость эрозии. При 90° модель прогнозирует отсутствие эрозии как таковой, что не соответствует экспериментальным данным.
2	Биттер	Данная модель была верифицирована по результатам экспериментов при ударе одиночной частицей. Хорошо объяснены закономерности явления эрозии. Однако данная модель не соответствует эрозии большим количеством частиц.
3	Хашиш	Модель легко использовать, и она не требует экспериментальных констант. Данная модель предназначена главным образом для пластичных материалов и применима при малом угле падения.
4	Мбабази и др.	Модель имеет простой алгоритм расчетов. Разработана для прогнозирования эрозии поверхностей из мягких сталей летучей золой. Модель в основном применима для малоуглеродистых сталей.
5	Табаков и др.	Модель разработана для эрозии стальных поверхностей частицами летучей золы; применима к малым, промежуточным и большим углам падения, а также их сочетанию. Прогнозируемые результаты находятся в хорошем согласии с измерениями. Нет зависимости скорости эрозии при разном содержании углерода в углеродистой стали
6	Исследовательский центр эрозии/коррозии (E/CRC)	В этой модели рассматривается коэффициент твердости преграды. Модель создана при высоких скоростях соударения частиц. Модель не рассматривает влияние размера частиц в явном виде.
7	Ока	Эта модель может быть применена к любому материалу, углу падения и скорости. В этой модели задействовано большое количество параметров и расчет не удобен.
8	Ли и др.	Модель включает в себя наиболее важные параметры эрозии труб паровых котлов. Эта модель не может применяться непосредственно для прогнозирования эрозии, поскольку константы, используемые в этой модели, определяться экспериментами.

В своей работе Табаков и др. [6] экспериментально исследовали влияние скорости частиц и угла падения на эрозию поверхностей из нержавеющей стали, в результате было получено следующее уравнение:

$$E = K_1 \left\{ 1 + C_k \left[K_2 \sin \left(\frac{90}{\beta_0} \beta \right) \right] \right\}^2 V^2 \cos^2 \beta \left[1 - (1 - 0,0016 V \sin \beta)^2 \right] + K_3 (V \sin \beta)^4, \quad (1)$$

где E – скорость эрозии, определяется как отношение потери массы преграды к массе ударяющих частиц, мг/кг; V – скорость соударения, м/с; β – угол падения частиц в градусах; β_0 – угол падения частиц, при котором достигается максимальная скорость эрозии; C_k – коэффициент восстановления при ударе в тангенциальном направлении, $C_k = 0$ при $\beta \leq 3\beta_0$ и $C_k = 1$ при $\beta > 3\beta_0$; K_1, K_2, K_3 – эмпирические константы. В нашем случае для стальной поверхности, подверженной воздействию частиц угольной золы, эмпирические константы в соответствии с [7] равны: $K_1 = 1,505 \times 10^{-6}$; $K_2 = 0,296$; $K_3 = 5,0 \times 10^{-12}$; $\beta_0 = 25^\circ$.

Выбранная модель эрозионного износа далее будет использована для расчетов конвективного газоохладителя ПГУ-ВЦГ. Планируется получить качественную картину распределения скоростей эрозии и разработать методы для минимизации абразивного износа конвективных поверхностей нагрева ГО.

Список использованных источников

1. Анализ технологических решений для ПГУ с внутрицикловой газификацией угля: монография / Н. А. Абаймов, И. Б. Амарская, В. С. Белоусов [и др.] / под ред. А. Ф. Рыжкова. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2016. 564 с.
2. Finnie I. Erosion of surfaces by solid particles // Wear. 1960. № 3 (2). P. 87–103.
3. Srinivasan S., Scattergood R. O. Effect of erodent hardness on erosion of brittle materials // Wear. 1988. № 128 (2). P. 139–152.
4. Parsi M., Najmi K., Najafifard F., Hassani S., McLaury B. S., Shirazi S. A. A comprehensive review of solid particle erosion modeling for oil and gas wells and pipelines applications // J. Nat. Gas Sci. Eng. 2014. № 21. P. 850–873.
5. Li M. J., Tang S. Z., Wang F. L., Zhao Q. X., Tao W. Q. Gas-side fouling, erosion and corrosion of heat exchangers for middle/low temperature waste heat utilization: A review on simulation and experiment // Applied Thermal Engineering. 2017. № 126. P. 737–761.
6. Tabakoff W., Kotwal R., Hamed A. Erosion study of different materials affected by coal ash particles // Wear. 1979. № 52. P. 161–173.
7. Jin Y., Tang G. H., He Y. L., Tao W. Q. Numerical study of the solid particle erosion on H-type finned circular/elliptic tube surface // Commun. Comput. Phys. 2015. № 21 (2). P. 466–489.